



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE ECONOMIA RURAL E EXTENSÃO
CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM GESTÃO FLORESTAL

PECCA

PAULO ROBERTO SILVA

**OTIMIZAÇÃO DE UM SISTEMA DE MANEJO PARA PRODUÇÃO DE BIOMASSA
EM FLORESTAS DE EUCALIPTO NA REGIÃO DE ANGATUBA – SÃO PAULO**

CURITIBA

2012



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE ECONOMIA RURAL E EXTENSÃO
CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM GESTÃO FLORESTAL

PECCA

PAULO ROBERTO SILVA

**OTIMIZAÇÃO DE UM SISTEMA DE MANEJO PARA PRODUÇÃO DE BIOMASSA
EM FLORESTAS DE EUCALIPTO NA REGIÃO DE ANGATUBA – SÃO PAULO**

Trabalho de conclusão de curso
apresentado ao Programa de
Educação Continuada em Ciências
Agrárias da Universidade Federal do
Paraná, como requisito parcial à
obtenção do título de Especialista
em Gestão Florestal.

Orientador: Dr. Nelson Yoshihiro Nakajima

CURITIBA

2012



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE ECONOMIA RURAL E EXTENSÃO
CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM GESTÃO FLORESTAL

PECCA

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO
ESPECIALIZAÇÃO EM GESTÃO FLORESTAL – UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

PAULO ROBERTO SILVA

E-mail: prsilva@klabin.com.br - fones: (015) 3272 5824 e (015) 8119 7856

OTIMIZAÇÃO DE UM SISTEMA DE MANEJO PARA PRODUÇÃO DE BIOMASSA EM FLORESTAS DE EUCALIPTO NA REGIÃO DE ANGATUBA-SP

RESUMO

O presente trabalho trata da adequação do manejo florestal utilizado em povoamentos de eucalipto na região de Angatuba-SP, para a maior produção de biomassa, definindo a melhor interação entre a densidade populacional, o arranjo de espaçamento de plantio e a idade de corte. Pela exiguidade de tempo para a realização de testes de campo, foi escolhida a opção do estudo e análise dos resultados de trabalhos realizados nesta linha de pesquisa, em condições edafoclimáticas que permitam comparações com a área objeto desse estudo. Os resultados dos trabalhos analisados mostraram que para a redução do tempo de cada rotação da floresta, torna-se necessário o aumento da densidade populacional de plantio, antecipando-se assim a inflexão na curva de crescimento de volume de madeira, com um espaçamento que possibilite a mecanização tanto da implantação quanto da colheita da floresta para permitir baixos custos operacionais. A combinação dos resultados dos trabalhos analisados direcionou a recomendação da melhor opção de manejo para a produção de biomassa, para o plantio de 2.222 plantas por hectare, no espaçamento de 3,0 metros entre linhas e 1,5 metros entre plantas, com a realização da colheita no quinto ano de idade do povoamento.

ABSTRACT

This monography has studied the eucalyptus forests management adequation in the region of Angatuba-SP, in order to maximize the biomass production and define the best relation between population density, planting space arrangement and cutting age. Due to the lack of time and the high costs to realize field tests, the analyses were based on results of other studies in that area, with similar soil and climate conditions. The analysed results has shown that the population density increase is needed in order to reduce the forest rotation period, with a spacing that enables the mechanization of both forest planting and cutting, reducing the operational costs. The combination of the analysed results has directed the recommendation of the best choice of biomass production management for a plantation with 2,222 plants per hectare, a 3 meters space between each line, a 1.5 meter between each plant, and a 5 years cutting age.



SUMÁRIO

1. Introdução.....	04
1.1 Objetivo geral.....	07
1.1.1 Objetivo específicos.....	08
2. Revisão Bibliográfica.....	08
2.1 A densidade de plantio e a produtividade de biomassa.....	08
2.2 O arranjo de espaçamento e a produtividade de biomassa.....	10
2.3 A idade de corte e a produtividade de biomassa.....	11
3. Material e métodos.....	12
4. Resultado e discussão.....	13
5. Conclusões.....	15
6. Referências bibliográficas.....	17

1. INTRODUÇÃO:

O eucalyptus é o gênero mais utilizado pelas indústrias de base florestal no Estado de São Paulo, e as características favoráveis dessa madeira para a produção de celulose e papel, além de chapas e painéis reconstituídos, tornaram o eucalipto o principal produto florestal nesse estado (CASTANHO FILHO, E. P. 2008). O rápido crescimento e a fácil adaptação das florestas de eucalipto às condições edafoclimáticas existentes no Brasil tornaram esse gênero florestal a principal opção de produção, sendo o mais utilizado pelas empresas brasileiras de base florestal em seus projetos de florestamento e reflorestamento (BERGER et al., 2002). Essa situação não é diferente quando analisamos especificamente a região sudoeste do Estado de São Paulo, onde está inserida a região de Angatuba-SP.

Esta condição predominante de produção de florestas de eucalipto para produção de celulose, papel, chapas e painéis reconstituídos estabeleceu entre as empresas de base florestal uma modalidade quase padrão de manejo das florestas de eucalipto para essas finalidades, determinando as escolhas das espécies, do espaçamento, da densidade populacional e da idade de corte, os quais foram definidos para o melhor rendimento da madeira nas indústrias, associando quantidade e qualidade da madeira produzida.

Esta forma tradicional de produção de florestas de eucalipto estendeu-se ao longo do tempo, das empresas florestais aos produtores rurais independentes, através de programas de fomento florestal e de assistência técnica, independentemente da destinação final das florestas implantadas.

Diante de um cenário mundial de elevação constante dos preços dos derivados de petróleo e da forte pressão ambiental para a utilização de combustíveis renováveis, a utilização da biomassa como insumo energético tornou-se uma grande opção. A motivação para essa tendência é dada pela necessidade de redução na utilização de derivados de fontes fósseis, bem como das emissões de gases nocivos à atmosfera (MÜLLER et al., 2005). Com isso, a utilização do eucalipto para a geração de energia tem se tornado cada vez mais importante, abrindo um novo

horizonte para essas florestas no Estado de São Paulo, na produção de biomassa para geração de energia.

Desta forma, a forte demanda por biomassa florestal para geração de energia no Estado de São Paulo é resultado da substituição da matriz energética das indústrias da região, que tinham os derivados de petróleo como principal fonte de combustível nos seus processos produtivos, mas estão adotando a biomassa florestal como alternativa mais econômica e ambientalmente correta.

A forte demanda por biomassa florestal elevou os preços deste produto, o que acabou estimulando os produtores florestais da região sudoeste do Estado de São Paulo a colherem suas florestas em rotações menores, antecipando assim o retorno de seus investimentos. Esta decisão tem sido tomada sem os estudos econômicos recomendados para uma boa fundamentação técnica. Adotam-se rotações mais curtas – que são comumente empregadas em florestas para fins energéticos – em florestas implantadas e manejadas para rotações mais longas, com o objetivo de produção de matéria prima para as indústrias de papel, celulose, chapas e painéis reconstituídos.

A densidade populacional e o espaçamento de plantio são fatores preponderantes na produção de madeira de uma floresta de eucalipto ao final de cada rotação, interferindo diretamente no ritmo de crescimento, na sobrevivência das plantas, na qualidade da madeira e na idade de corte. (COUTO et al., 1977; BERGER et al., 2002; MÜLLER et al., 2005). Todos estes fatores impactam diretamente nos custos de implantação, manejo e colheita da floresta. Portanto, o equacionamento adequado entre esses custos e a produção florestal permitirá definir o modelo mais adequado para uma floresta de eucalipto destinada a produção de biomassa. (ASSIS et al., 1999; LELES et al., 2001; MÜLLER et al., 2005).

A definição de um modelo específico com técnicas apropriadas para implantação e manejo de uma floresta de eucalipto com finalidade de produção de biomassa permitirá às empresas florestais e aos produtores rurais obterem melhores resultados dos recursos empregados na produção de suas florestas.

A densidade de árvores por área plantada é a principal variável no manejo florestal ao longo do ciclo da floresta. Esta é definida pela distância entre plantas e entre linhas de plantio e interfere diretamente tanto no crescimento individual das árvores como no seu crescimento conjunto (STAPE, 1995).

Segundo Zobel (1977), apud Silva (2005, p.12):

A escolha do espaçamento inicial de plantio tem influência nas características da árvore e do povoamento e a decisão de adotar um determinado espaçamento e arranjo de plantio depende do conjunto de fatores de natureza ambiental, silvicultural e econômico-financeira.

Para Balloni e Simões (1980, Ibidem)

Ainda que o espaçamento influencie, de forma direta, a taxa de crescimento das árvores, a taxa de crescimento do povoamento, a qualidade e o sortimento da madeira, os tratos culturais, os custos de implantação, manutenção e colheita florestal, a conservação do solo e a própria rentabilidade da floresta, também apresentam influência.

O espaçamento de plantio deve ser definido considerando-se a capacidade produtiva do sítio utilizado, a espécie e o grau de melhoramento da floresta, a idade de planejamento de corte, a competição com as plantas daninhas, o uso desejado da madeira, a qualidade da madeira a ser produzida e o volume de recursos disponíveis (SILVA, 2005).

Desta forma, quando se aplicam espaçamentos e arranjos de plantios para produção de madeira de eucalipto com o objetivo de produção de celulose, papel, chapas e painéis reconstituídos, deve-se considerar a necessidade de obtenção de determinados padrões na qualidade da madeira, os quais estão associados aos ciclos mais adequados para cada corte da floresta.

Quando se realizam cortes na floresta em prazos mais curtos que os recomendados, há um desperdício dos recursos empregados, pois se deixa de obter a maior produtividade possível para os recursos naturais e econômicos disponibilizados.

Nogueira e Lora (2003) reforçam que uma característica essencial da biomassa utilizada como fonte de energia é o poder calorífico, este parâmetro define a quantidade de energia térmica que se libera durante a combustão completa de uma unidade de massa ou de volume de combustível.

A produção de biomassa para bioenergia e sua qualidade podem ser influenciadas pelo manejo da adubação e do espaçamento, bem como pelo ciclo de corte do povoamento, desta forma as florestas energéticas primam pela maior produção de biomassa por área em rotações mais curtas. (GARCIA et al. 2011)

Em trabalho realizado por Garcia et al. (2011) para obtenção do poder calorífico superior em madeira de eucalipto com 18 meses de idade, os valores aferidos foram semelhantes aos encontrados em literatura para a mesma unidade de massa seca de madeira de florestas com 84 meses de idade. A partir desta informação, pode-se afirmar que a idade de corte da floresta e a qualidade da madeira não afetam o poder calorífico por unidade de massa seca da mesma.

Embora a densidade básica da madeira aumente ao longo dos anos de vida de uma floresta de eucalipto, o que define a produtividade de uma floresta para fins energéticos é a produção de biomassa seca por unidade de área, porque a qualidade da madeira neste caso é secundária.

Müller et al. (2005), a respeito da produção de biomassa e energia em diferentes espaçamentos de plantio de um clone de eucalipto, concluíram que:

O crescimento em área basal por hectare apresentou relação direta com a densidade de plantio, ou seja, nos tratamentos com maior densidade de plantas por hectare foram observados os maiores valores de área basal. Estes valores decresceram com a diminuição dessa densidade. A mesma tendência foi observada para as variáveis: volume e biomassa.

Assim sendo, a definição da melhor opção de densidade de plantio associada à idade de corte deve ser aquela que permite a maior produção de biomassa pela floresta pelo menor custo de produção.

1.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo geral deste trabalho é estabelecer, através de parâmetros obtidos de trabalhos científicos realizados, uma proposta ideal de densidade de plantio, arranjo de espaçamento, manejo silvicultural e idade de corte para florestas de eucalipto destinadas à produção de biomassa na região de Angatuba-SP, preenchendo os requisitos apresentados a seguir:

1.1.1 Objetivos Específicos

1. Definição da melhor densidade de plantio, levando em consideração a capacidade de produção do sítio predominante na região;
2. Definição do melhor arranjo de espaçamento, levando em consideração os impactos do mesmo nos custos operacionais de implantação e de colheita de uma floresta de eucalipto e o efeito competitivo das plantas invasoras;
3. Definição da melhor idade de corte da floresta, levando em consideração a capacidade de produção do sítio predominante na região.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA:

A cultura do eucalipto está consolidada no Brasil. Existem inúmeros estudos realizados que buscam estabelecer as melhores técnicas silviculturais e de manejo para a produção de madeira para as mais diversas finalidades¹. A cultura de florestas de eucalipto para fins energéticos tem sido objeto de estudos de empresas e pesquisadores ligados à cadeia produtiva do carvão e mais recentemente à produção de biomassa florestal, principalmente no Estado de Minas Gerais e na região centro-oeste do Brasil.

2.1 A densidade de plantio e a produtividade de biomassa:

A densidade populacional adequada de uma floresta, definida pela quantidade de árvores por unidade de área, tem sido objeto constante de estudos devido à grande importância que representa no manejo florestal (STAPE, 1995).

Os primeiros plantios comerciais de eucalipto no Brasil com florestas equiâneas adotavam espaçamentos com populações iniciais entre 1.600 e 2.500 plantas por hectare. Esta prática manteve-se até finais da década de 80.

¹Pesquisadores como Ricardo Berger, Carlos Roberto Sanqueta da Universidade Federal do Paraná, José Luiz Stape, José Otávio Brito, João Walter Simões, José Leonardo de Moraes Gonçalves e Walter de Paula Lima da Universidade de São Paulo, Laércio Couto, Nairam Félix de Barros, Roberto Ferreira de Novais, Liovando Marciano da Costa, da Universidade Federal de Viçosa, são exemplos de cientistas que realizaram estudos muito significativos nessa linha de pesquisa.

Com a introdução de novas espécies, procedências e clones, e com o aprimoramento das técnicas de melhoramento genético, melhores resultados de crescimento nas florestas foram alcançados, permitindo o aumento dos espaçamentos tradicionalmente utilizados, visando principalmente ao favorecimento da mecanização das atividades silviculturais e de colheita.

Sobre o efeito do espaçamento no crescimento, produção e alocação de matéria seca em eucalipto, Lelles et al. (2001) citam que:

Conforme revisado por Bernardo (1995) existe um comportamento variável do crescimento em altura em relação ao espaçamento entre as plantas. No entanto, usualmente, observa-se maior diâmetro das plantas com o aumento do espaçamento.

Balloni (1983) explica que a diminuição da altura média das plantas, à medida que diminui o espaçamento, dentro de certos limites, ocorre em razão de haver um número considerável de árvores dominadas.

Por outro lado, a tendência da altura com a redução do espaçamento é explicado por Kozłowski et al., (1991) com base na competição por luz, o que estimularia o crescimento. Essa explicação é mais lógica quando as plantas forem exigentes em luz, como as espécies de *Eucalyptus*.

Segundo Berger et al. (2002), a capacidade de produção de um sítio é definida por suas condições edafoclimáticas, não variando em função da densidade populacional da floresta. A maior ou menor quantidade de indivíduos por unidade de área somente irá determinar o tempo necessário para que a floresta atinja o seu limite máximo de produção naquele sítio. As diferenças iniciais de produção se reduzem ao longo do tempo, resultando numa produção equivalente por hectare em todos os espaçamentos.

2.2 O arranjo de espaçamento e a produtividade de biomassa

Em teoria, o melhor arranjo de plantio é aquele que permite a melhor distribuição dos recursos do sítio para as árvores. Stape (1995) verificou em plantio de *Eucalyptus dunnii* com 6 anos de idade, realizado no formato de quinquêncio, aumento de produtividade de 6% em relação ao formato quadrado convencional.

Por outro lado, a busca por rendimentos operacionais cada vez maiores e a consequente redução dos custos de produção estimularam, ao longo do tempo, estudos para definição de novos espaçamentos e principalmente novos arranjos de plantios, mais retangulares, reduzindo o número de linhas de plantio e o aumento de árvores plantadas nas linhas (ASSIS et al., 1999).

A redução dos custos operacionais em áreas mecanizáveis pode representar atualmente até 40 % do custo de implantação de uma floresta de eucalipto quando comparado com áreas não mecanizáveis, sem contar com o comprovado aumento de produtividade e de arranque inicial que se verifica em talhões com preparo de solo mecanizado.

Saindo do âmbito restrito da silvicultura e analisando também os custos de colheita em plantios cujos espaçamentos facilitam a mecanização, essas diferenças tornam-se enormes, inviabilizando qualquer arranjo de espaçamento de plantio florestal que não permita a mecanização das atividades de implantação, manutenção e colheita da floresta.

Desta forma, como a maioria dos equipamentos florestais necessita de um espaço mínimo de 3,00 metros entre as linhas de plantio para a locomoção dentro dos talhões, este limite mínimo foi tomado como critério para desconsiderar, nos trabalhos analisados, os tratamentos que adotavam medidas inferiores a esta.

Avaliando os efeitos de diferentes arranjos de plantio na produção de biomassa em floresta de *Eucalyptus urophylla* na região de cerrado de Minas Gerais, Assis et al. (1999) observaram que, para o mesmo espaçamento de 9 m² por planta, a produção de biomassa aos 4 anos de idade foi inversamente proporcional ao aumento da retangularidade do arranjo de plantio.

2.3 A idade de corte e a produtividade de biomassa

A determinação da idade de corte de um povoamento, também chamada de rotação florestal, é uma das fases mais importantes no conjunto das técnicas de manejo e planejamento florestal. No caso específico do empresário florestal, em que o objetivo principal é a maximização do lucro, esta fase reveste-se da maior importância, em razão do alto custo do empreendimento (RESENDE et al., 2004).

Segundo Bentley & Teeguarden (1965) apud Resende (1991), uma empresa florestal pode utilizar as melhores técnicas de produção e plantio de mudas, usar a espécie mais adequada, atingir uma estrutura ótima de povoamento, adotar as técnicas de proteção e mesmo assim ficar muito aquém dos resultados econômicos potencialmente atingíveis, caso o corte final e/ou intermediário não seja realizado no momento adequado.

Além de informações sobre o estoque presente e suas mudanças com o tempo, é de interesse para o manejador florestal conhecer o efeito da aplicação de técnicas silviculturais, como o controle do espaçamento, a intensidade de desbaste, a adubação na produtividade da floresta e na definição do momento ideal para a colheita (Campos et al., 1986).

A definição da idade de corte de uma floresta não deve ser feita tão somente considerando a produtividade do povoamento, já que a capacidade produtiva do sítio também é um fator muito significativo.

Em estudo realizado por Soares et al. (2009) em sítios de capacidades produtivas distintas, verificou-se que a idade técnica de corte em plantios de clones híbridos de *E. grandis* X *E. urophylla* foi inversamente proporcional à capacidade produtiva do sítio, com seis anos para os sítios de menor capacidade produtiva e quatro anos para os sítios de maior capacidade produtiva.

Castro (2011), em estudo sobre o efeito da idade da floresta na madeira de *Eucalyptus* sp., verificou, em plantios de dois clones com espaçamentos comerciais de 8,75 m², que o incremento da densidade básica da madeira teve o ritmo reduzido significativamente a partir do quinto ano de idade, com a evolução de

0,47 g / cm³ para 0,53 g / cm³ no período entre o terceiro e o quinto ano de idade da floresta, representando incremento de 12,77%. Já no período entre o quinto e o sétimo ano, a evolução da densidade foi de 0,53 g / cm³ para 0,55 g / cm³, com incremento de apenas 3,77%.

3. MATERIAL E MÉTODOS:

Qualquer trabalho que se faça para a obtenção de resultados relativos à produção e idade de corte de uma floresta demandaria anos de pesquisas e testes de campo para a confirmação dos resultados, além dos custos.

Devido à curta disponibilidade de tempo para a realização deste trabalho de conclusão de curso, resumida em poucos meses, a experimentação de campo torna-se inviável.

A atualidade e a importância do tema escolhido para estudo estão associadas à relativa disponibilidade de trabalhos científicos realizados nesta linha de pesquisa, possibilitando a obtenção de informações que possam ser utilizadas para a solução do problema apresentado e alcançar os objetivos pretendidos.

Deste modo, a metodologia proposta é a análise de resultados de experimentos realizados em regiões de condições edafoclimáticas semelhantes às encontradas na região de Angatuba-SP.

Os solos predominantes nessa região são do tipo Latossolo Vermelho-amarelo distrófico, fase arenosa (LVAd), Latossolo Vermelho distrófico, fase argilosa (LVd), Cambissolo Háplico Tb distrófico (CXbd) e Neossolo Quartzarênico órtico (RQo), segundo classificação da EMBRAPA (1999), e de relevo plano a suave ondulado.

As altitudes predominantes dessa região variam de 620 a 680 metros, o clima é do tipo Cfa de acordo com a classificação de Köppen, caracterizado como mesotérmico úmido, com inverno mais seco e maior intensidade de chuvas no verão. A precipitação média anual é de 1.376 mm, sem a ocorrência de déficit hídrico. A temperatura média anual é de 20,6 °C, e a temperatura média do mês mais frio é 16,3 °C, enquanto a temperatura média do mês mais quente é 23,4°C.

Os experimentos analisados são referentes à densidade de plantio e produção de biomassa em florestas de eucalipto, bem como arranjo de espaçamentos de plantio e produção de biomassa em florestas de eucalipto e suas interações na definição da idade ótima de corte.

A partir da obtenção dos melhores resultados de produção em literaturas, pretende-se ajustar os mesmos às respectivas demandas de custos operacionais e de insumos florestais, com a finalidade de obter a melhor relação entre investimento e resultado da floresta.

Com a melhor equação produção/custos, objetiva-se definir um modelo ideal de densidade de plantio, arranjo de espaçamento de plantio e idade de corte da floresta de eucalipto para produção de biomassa.

Um fator importante que deve ser considerado na definição de um modelo ideal de manejo é a garantia de flexibilidade de opções para o destino da madeira no momento da colheita da floresta. Mesmo otimizando a produção de biomassa, o manejo ideal a ser definido não deve inviabilizar a destinação da madeira para o tradicional mercado de celulose, papel, chapas e painéis reconstituídos, uma vez que o mercado é dinâmico e pode sofrer alterações ao longo do período de crescimento do povoamento.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Pelas características deste trabalho, que está baseado na análise de experimentos realizados, na extração de informações que possam balizar a definição de um modelo ideal de manejo para produção de biomassa em florestas de eucalipto, a apresentação detalhada dos resultados dos trabalhos estudados será restrita aos tópicos de maior interesse ao tema estudado.

Berger (2002), no trabalho: Efeito do espaçamento e da adubação no crescimento de um clone de *Eucalyptus saligna smith*, concluiu que o volume comercial não é significativamente afetado pelo espaçamento e pela adubação, não havendo diferença entre as médias dos tratamentos estudados aos 126 meses de idade da floresta.

Resende et al. (2004), em trabalho² realizado em povoamento de *E. grandis*, numa área de 253,20 ha localizada no município de Martinho Campos–MG, plantado no espaçamento de 3,0 X 2,0 metros, com o objetivo de obter informações sobre as produtividades presente e futura da floresta, associadas a informações econômicas e à melhor estratégia de corte, obteve como resultado que a melhor opção de rotação é o corte da floresta aos cinco anos de idade.

Silva (2005), no trabalho: Efeito do espaçamento e arranjo de plantio na produtividade e uniformidade de clones de *Eucalyptus* na região nordeste do Estado de São Paulo, concluiu que as maiores produções em volume e biomassa de lenho foram atingidas no espaçamento de 6,00 m² por planta, com reduções médias de 10% e 18% na produção em relação aos espaçamentos de 10,5 e 15 m² por planta respectivamente. Concluiu ainda que a produtividade da floresta foi maior nos arranjos de espaçamento de plantio com retangularidade próxima à unidade e que a uniformidade da floresta foi maior nos arranjos de espaçamento de plantio com retangularidade próxima à unidade.

Müller et al. (2006), no trabalho: Avaliação de um clone de Eucalipto estabelecido em diferentes densidades de plantio, com 1,50, 3,00, 4,50, 6,00 e 9,00 metros quadrados, para produção de biomassa e energia, concluíram que a interação entre quantidade de biomassa por hectare e poder calorífico da madeira tem relação direta com a densidade de plantio, revelando que a quantidade de energia por unidade de área se eleva gradativamente dos maiores para os menores espaçamentos estudados.

Garcia et al. (2011), no trabalho: A energia da madeira em floresta de eucalipto, encontraram valores médios de poder calorífico entre 4.717 e 4.862 kcal/kg em madeira com casca de povoamentos com 18 meses de idade, plantados com clone de híbrido de *E. grandis* e *E. urophylla*. Já Castro (2011), no trabalho: Efeito da idade e de materiais genéticos de *Eucalyptus* sp na madeira e carvão vegetal, encontrou valores médios de poder calorífico entre 4.542 e 4.660 kcal/kg em

² Emprego de um modelo de crescimento e produção para determinação da rotação em povoamentos de eucalipto. <http://revistas.cpd.ufv.br/arvoreweb> – acessado em 20/05/2012.

madeira com casca de povoamentos com sete anos de idade, plantados com clones de cruzamentos das mesmas espécies.

Como demonstrado, a farta informação na literatura indica que o poder calorífico de uma determinada quantidade de massa seca de madeira não varia significativamente em função da idade da floresta.

5. CONCLUSÕES

Com base nas análises dos estudos relativos à densidade de plantio, espaçamento e arranjo de plantio e idade de corte em florestas, para produção de biomassa, é possível chegar às conclusões a seguir.

A densidade de plantio está diretamente relacionada à quantidade de biomassa produzida, principalmente na condição proposta para este trabalho, em que o mercado exerce forte pressão para que a colheita da floresta seja realizada cada vez mais prematuramente, antecipando a rotação tradicional de sete anos.

O arranjo de plantio em quinquêncio seguido pelo em quadrado são as combinações mais produtivas para qualquer espaçamento escolhido. No entanto, como os ganhos de produtividade nas atividades mecanizadas, tanto de silvicultura quanto de colheita, permitem reduções nos custos operacionais maiores do que a perda de produtividade, os arranjos retangulares com distância mínima de três metros entre as linhas é a opção mais recomendada.

É possível a adoção de modelo de manejo com a realização da colheita em prazos menores que o tradicional de sete anos, sem perda da capacidade de produção do sítio da região objeto desse estudo, desde que esta redução seja acompanhada de aumento na densidade populacional do povoamento.

Estima-se que a densidade de plantio mais adequada ao objetivo de produção de biomassa para os povoamentos de eucaliptos, considerando-se a capacidade produtiva dos sítios da região, seja de 4,50 m² por planta.

Como a mecanização é fundamental para a viabilização dos custos de implantação e de colheita da floresta e a distância mínima entre linhas de plantio que permite a mecanização das atividades de implantação e de colheita é de 3,00 metros, estima-se que o espaçamento mais adequado para essa densidade de plantio, levando-se em consideração os custos operacionais das atividades de silvicultura e colheita da floresta, seja de 3,00 m X 1,50 m.

A idade de corte da floresta de eucaliptos para obtenção da maior produção de biomassa por unidade de área nas condições estimadas como ótimas para densidade de plantio e espaçamento seja de cinco anos para cada rotação do povoamento.

6. REFERÊNCIAS

ASSIS, R. L.; FERREIRA, M. M.; MORAIS, E. J.; FERNANDES, L. A. produção de biomassa de *E. urophylla* S. T. Blake sob diferentes espaçamentos na região do cerrado de Minas Gerais. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 23, n. 2, p. 151–156, 1999.

BERGER, R.; SCHNEIDER, P. R.; FINGER, C. A. G.; HASELEIN, C. R. Efeito do espaçamento e da adubação no crescimento de um clone de *Eucalyptus saligna* Smith. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 12, n. 2, p. 75-87, 2002.

CAMPOS, J. C. C. et al. Aplicação de um modelo compatível de crescimento e produção de densidade variável em plantações de *Eucalyptus grandis*. **Revista Árvore**, v. 10, n. 2, p. 121-134, 1986.

CASTRO, A. F. N. M. **Efeito da idade e de materiais genéticos de *Eucalyptus* sp. na madeira e carvão vegetal**. 98 f. Dissertação (Mestrado) – Setor de Ciência Florestal, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2011.

COUTO, L.; BRANDI, R. M.; CONDÉ, A. R.; PAULA NETO, F. Influência do espaçamento de *E. urophylla* de origem híbrida, cultivado na região de Coronel Fabriciano, MG. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 1, n. 2, p. 57-71, 1977.

FILHO, E. P. C. **Consumo aparente, cotação e valor de produção de madeira de florestas plantadas no Estado de São Paulo: uma visão das últimas décadas**. IEA, 2008. disponível em <http://www.iea.sp.gov.br>, acesso em 18.05.2012.

GARCIA, E. A.; LANÇAS, K. P.; GUERRA, S. P. S.; REZENDE, M. A.; MAZIERO, F. L. A energia da madeira em floresta de eucalipto. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 40., 2011, Cuiabá, MT. **Anais**.

GOMES, R. T. **Efeito do espaçamento no crescimento e nas relações hídricas de *Eucalyptus* spp. na região de cerrado de Minas Gerais**. 85 f. Dissertação (Mestrado) – Setor de Ciência Florestal, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1994.

HAKAMADA, R. E.; STAPE, J. L.; MOREIRA, R. M. Efeito do espaçamento de plantio na produção de madeira e folhas em *Eucalyptus citriodora* em neossolo quartzarênico do Estado de São Paulo. In: Simpósio Internacional de Iniciação Científica da Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003. **Anais**

HIRATA, F. G.; BAZANI, J. H.; MINATEL, R.; STAPE, J. L.; MOREIRA, R. M. Determinação do espaçamento de plantio para materiais genéticos de eucalyptus objetivando produção por área e tamanho mínimo de árvores para a colheita. In:

Simpósio Internacional de Iniciação Científica da Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003. **Anais**

LEITE, F. P. et al. Crescimento de *Eucalyptus grandis* em diferentes densidades populacionais. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 21, n. 3, p. 313-321, 1997.

LELES, P. P. S. et al. Crescimento, produção e alocação de matéria seca *E. camaldulensis* e *E. pellita* sob diferentes espaçamentos na região do cerrado, MG Scientia Forestalis, n. 59, p. 77-87, 2001.

MARRICHI, A. H. C., CHIVA, A. P. V., STAPE, J. L., MOREIRA, R. M. Efeito de arranjo de plantio na produtividade de clones de Eucalyptus em neossolo quartzarênico no Estado de São Paulo. In: Simpósio Internacional de Iniciação Científica da Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003. **Anais**

MÜLLER, M.D., COUTO, L., LEITE, H.G.; BRITO, J. O. Avaliação de um clone de eucalipto estabelecido em diferentes densidades de plantio para produção de biomassa e energia. **Biomassa & Energia**, v. 2, n. 3, p. 177-186, 2005.

RESENDE, R. R., VALE, A. B, SOARES, T. S., SILVA, M. L., COUTO, L., VALE, R.S. Emprego de um modelo de crescimento e produção para determinação da rotação em povoamentos de eucalipto. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 28, n. 2, p. 219-225, 2004.

SILVA, C.R. **Efeito do espaçamento e arranjo de plantio na produtividade e uniformidade de clones de eucalyptus na região noroeste do Estado de São Paulo**. 50 f. Dissertação (Mestrado) – Setor Ciência Florestal, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba. 2005

STAPE, J. L. **Utilização de delineamento sistemático tipo leque no estudo de espaçamentos florestais**. 86 f. Dissertação (Mestrado) - Setor Ciência Florestal, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba. 1995